

## KLASYFIKACJA SKAŁ OSADOWYCH NA PODSTAWIE ICH MODUŁÓW SPRĘŻYSTOŚCI WYZNACZONYCH Z OBRAZÓW FAŁOWYCH

UKD 552.5:550.832.44

Jedną z możliwości oceny modułów sprężystości skał w warunkach ich naturalnego występowania jest pomiar i interpretacja pełnych obrazów falowych rejestrowanych w odwiercie przy profilowaniu akustycznym.

Na obrazie falowym zaznaczają się różne typy fali generowane w ośrodku skalnym (1). Ocena czasów interwałowych oraz prędkości rozchodzenia się fal podłużnych i poprzecznych pozwala na określenie modułów sprężystości badanych formacji — Younga ( $E$ ), współczynnika Poissona ( $\nu$ ), modułu odkształcenia objętości ( $K$ ) oraz postaci ( $\mu$ ), zwanego również modułem ścinania.

Interpretację ilościową pełnych obrazów falowych, rejestrowanych sondą akustyczną typu SPAK-4 przeprowadzono dla otworów: Ł 28, R 3, B.1, St M 1, S 23, KG 1, W IG 1 oraz CH IG 1.

Przed wykonaniem serii pomiarów w wytypowanych otworach należało wybrać optymalne parametry rejestracji (2, 3, 10). Prace te były konieczne, ponieważ nie dysponowano specjalnymi nadajnikami o krótkotrwałym czasie emisji i wysokiej energii ani szerokopasmowymi odbiornikami, stosowanymi w aparaturach firm zachodnich do rejestracji obrazów falowych.

Ze względu na brak zapisu cyfrowego, a tylko możliwości wykonania zdjęć oscyloskopowych, należało również zapewnić im wysoką jakość pod względem jasności obrazu, czytelnej siatki współrzędnych, a także doboru odpowiedniej podstawy czasu, zapewniającej dużą dokładność interpretacji oraz optymalizację stopnia wzmożenia, przy którym nie następuje zniekształcenie rzeczywistych amplitud fal użytecznych.

Obrazy falowe rejestrowano w interwałach, dokumentowanych rdzeniami wiertniczymi, co gwarantowało możliwość wykonania analiz laboratoryjnych.

Pomiary obrazów falowych, wraz z kompletem krzywych geofizyki wiertniczej, wykonywano w zróżnicowanych seriach zarówno pod względem stratygrafii, jak i litologii. Pozwoliło to na przeprowadzenie pełniejszej analizy wyników i większe uogólnienie formułowanych wniosków.

Wytypowano poziomy węglanowe (obejmujące serie dolomitowo-wapienne i anhydrytowe), poziomy wapienne, serie czystych lub zailonych piaskowców nasyconych wodami złożowymi lub węglowodorami oraz poziomy piaskowcowo-mułowcowo-ilaste.

Dysponując zapisami obrazów falowych, przeprowadzono szczegółową ich interpretację ilościową i określono czasy interwałowe fal podłużnych ( $\Delta T_p$ ) i poprzecznych ( $\Delta T_s$ ) oraz prędkości propagacji obu typów fal ( $v_p$ ,  $v_s$ ) (4). Obliczono również parametry zbiornikowe dla wszystkich interpretowanych warstw.

Współczynniki porowatości  $k_p$  określono na pod-

stawie profilowań neutronowych (PNNt) oraz czasu interwałowego fali podłużnej ( $\Delta T_p$ ). Zailenie zaś wyznaczano z krzywej profilowania gamma (PG) stosując dostępne nomogramy i ogólnie znaną metodykę.

### OCENA MODUŁÓW SPRĘŻYSTOŚCI NA PODSTAWIE ZAREJESTROWANYCH OBRAZÓW FAŁOWYCH

Określenie prędkości propagacji fal podłużnych i poprzecznych z obrazów falowych, zarejestrowanych przy profilowaniu akustycznym, stwarza możliwości oceny modułów sprężystości. Wyznaczone w ten sposób moduły będą charakteryzować skały w warunkach *in situ*, a więc stanowią cenną informację o rzeczywistych parametrach sprężystych.

Związki pomiędzy modułami sprężystości a prędkościami fal podłużnych i poprzecznych w ośrodku jednorodnym i izotropowym można otrzymać z równań ruchu:

$$\rho \frac{\delta^2 \mathbf{u}}{\delta t^2} = (\lambda + 2\mu) \text{grad div } \mathbf{u} - \text{rot rot } \mathbf{u} \quad [1]$$

gdzie:  $\mathbf{u}$  — wektor deformacji,

$\lambda$  — współczynnik Lamego,

$\mu$  — moduł odkształcenia postaci (moduł ścinania),

$\rho$  — gęstość ośrodka.

Zakładając, że stan odkształcenia wywołany naprężeniami składa się wyłącznie z odkształcenia postaciowego (dystorsji), można otrzymać znany wzór na prędkość fali poprzecznej:

$$v_s = \left( \frac{\rho}{\mu} \right)^{1/2} \quad [2]$$

Jeśli zaś będziemy rozważać tylko odkształcenia bezwiarowe, otrzymamy równanie fal dylatacyjnych (podłużnych), a ich prędkość

$$v_p = \left( \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \right)^{1/2} = \left[ \frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)} \right]^{1/2} \quad [3]$$

gdzie:  $E$  — moduł Younga,

$\nu$  — współczynnik Poissona.

Po przekształceniu otrzymamy wzory określające moduły sprężystości:

Moduł Younga:

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu} = 2\rho v_s^2(1 + \nu) \quad [4]$$

Moduł odkształcenia postaci:

$$\mu = \rho \cdot v_s^2 \quad [5]$$

Moduł odkształcenia objętości:

$$K = \lambda + \frac{2}{3} \mu = \rho \left( v_p^2 - \frac{4}{3} v_s^2 \right) \quad [6]$$

Współczynnik Poissona:

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} = 0,5 \left[ \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{v_p^2 - v_s^2} \right] \quad [7]$$

Powyższe wzory zostały wykorzystane do obliczeń modułów sprężystości z interpretowanych obrazów falowych. Ze względu na brak pomiarów sondą gamma-gamma, do oceny gęstości wykorzystywano wyniki badań laboratoryjnych ( $\rho_{lab}$ ), wykonywanych przez ZPNiG Kraków (dane z otworów Ł 28, R 3, St 1), zespół Ciechanowskiej (KG 1, S 23) (6) oraz Jasnowskiego *et al.* (W IG 1, CH IG 1) (9).

Zbadano związki statystyczne występujące między wartością  $\rho_{lab}$  a czasem interwałowym  $\Delta T_p$  wyznaczonym z profilowania akustycznego. Obliczone proste regresji liniowej  $\rho_{lab} = f(\Delta T_p)$  (4, 5) dla każdego otworu i danej litologii zostały wykorzystane do estymacji gęstości, którą wprowadzono do wzorów [4]–[7] przy określaniu modułów sprężystości.

#### ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW ORAZ PRÓBA KLASYFIKACJI SKAŁ NA PODSTAWIE ICH PARAMETRÓW SPRĘŻYSTOŚCI

Obliczone moduły sprężystości na podstawie rejestrowanych w otworach obrazów falowych charakteryzują skały występujące w warunkach naturalnych. Interpretowane warstwy odpowiadają różnym poziomom litostratygraficznym, dlatego też przeprowadzona analiza i uzyskane z niej wnioski można traktować jako pewne uogólnienia.

Moduły  $E$ ,  $\mu$ ,  $K$  oraz  $\nu$  wahają się w dużych przedziałach w zależności od typu litologicznego (składu mineralnego szkieletu i spoiwa), porowatości, zailenia, nasycenia bituminami oraz głębokości występowania badanych poziomów.

Najwyższymi modułami Younga ( $E$ ) charakteryzują się dolomity i anhydryty cechsztyńskie z otworu KG 1 oraz dolomity, dolomity wapieniste i wapienie dolomi-

tyczne jury z otworu Ł 28. Wahają się one między  $6,452 \cdot 10^4$  MPa a  $9,229 \cdot 10^4$  MPa. Wartość maksymalna odpowiada bardzo zbitej warstwie dolomitu głównego serii cechsztyńskiej.

W otworze Ł 28 maksymalna wartość  $E$  wynosi  $8,432 \cdot 10^4$  MPa, a średnia w grupie dolomitycznej  $7,4 \cdot 10^4$  MPa. Również pozostałe moduły sprężystości  $\mu$  i  $K$  są najwyższe dla tych utworów. Stała Poissona zawiera się w dość dużym przedziale od 0,2624 do 0,3216. Najniższe wartości  $\nu$  odpowiadają dolomitom zawierającym gaz, a najwyższe jurajskim wapieniom dolomitycznym. Wapienie górnej jury w tym otworze mają również dość wysokie wartości modułów  $E$ ,  $\mu$  i  $K$  (tab. I).

Nieco niższe moduły otrzymano dla wapieni jurajskich malmu w otworze B 1. Choć występują one na znacznie niższych głębokościach (prawie o 800 m wyżej), jednak charakteryzują się bardzo małą porowatością i to powoduje podwyższenie ich modułów sprężystości. Zdecydowanie najniższe moduły można zaobserwować w grupie wapieni jurajskich w otworze R 3. Wiąże się to ze wzrostem zailenia lub porowatości w poszczególnych poziomach.

Stała Poissona dla grupy litologicznej wapieni jest najwyższa. Waha się od 0,2904 do 0,3216. Dla skał zailonych jest ona również bardzo wysoka (np. szary il solny z otworu KG 1 –  $\nu = 0,3027$ ). Na ryc. 1 przedstawiono przedziały współczynnika Poissona dla różnych typów litologicznych skał w zależności od stosunku  $v_p/v_s$ .

Utwory piaskowcowe charakteryzują się dość dużym zróżnicowaniem obliczonych modułów.

W tab. II podano wartości ekstremalne i średnie interpretowanych kredowych warstw piaskowcowych i piaskowcowo-ilastych. W otworach Ł 28 i R 3 rozdzielono je na dwie grupy – poziomy zawodnione i nasycone gazem. Natomiast w otworze S 23 podano również wartości skał o podwyższonym zaileniu i zailonych.

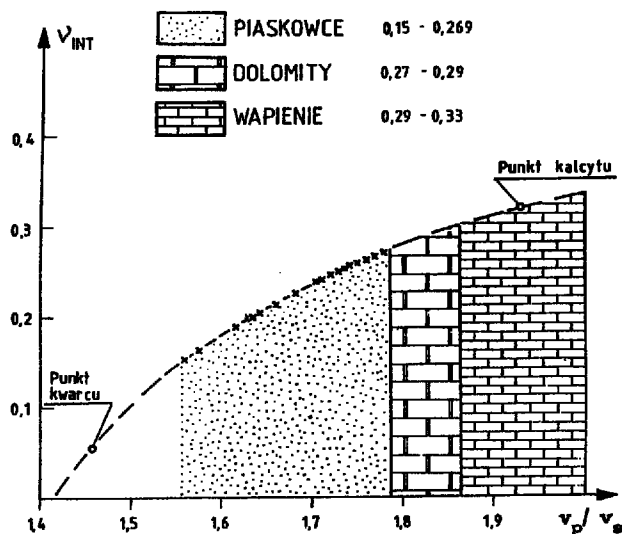
Piaskowce zawodnione mają zdecydowanie wyższe moduły  $E$ ,  $\mu$  i  $K$ . Jednak ze wzrostem porowatości, jak już wspomniano wyżej, moduły obniżają się. Widać to wyraźnie na przykładzie piaskowców z otworu St M 1, w którym współczynniki  $k_p$  są bardzo wysokie (średnia wartość  $k_p = 28\%$ ), a wymienione moduły są najniższe (średnie  $E_{sr} = 1,553 \cdot 10^4$  MPa,  $\mu_{sr} = 0,573 \cdot 10^4$  MPa,  $K_{sr} = 1,161 \cdot 10^4$  MPa). Stała Poissona jest natomiast

Tabela I

WARTOŚCI EKSTREMALNE I ŚREDNIE MODUŁÓW SPRĘŻYSTOŚCI  
OBLICZONYCH Z OBRAZÓW FALOWYCH DLA SKAŁ WĘGLANOWYCH

Nazwa otworu	$E \cdot 10^4$ (MPa)			$\mu \cdot 10^4$ (MPa)			$K \cdot 10^4$ (MPa)			$\nu$			N	Uwagi
	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.		
Ł 28	6,539	8,432	7,400	1,966	3,275	2,854	3,973	7,154	6,071	0,2624	0,3215	0,2963	39	jura, malm, dolomity wap., wapienie dolomitowe jura, malm, wapienie
	4,167	7,191	6,272	1,592	2,726	2,395	3,624	6,902	5,572	0,2933	0,3216	0,3092	20	
R 3	2,420	3,803	3,258	0,919	1,683	1,242	2,181	3,994	2,947	0,3084	0,3191	0,3148	11	jura, malm, wapienie kreda, turon, wapienie
	4,391	4,755	4,575	1,682	1,843	1,763	3,727	3,835	3,771	0,2904	0,3056	0,2978	5	
B 1	3,604	7,063	5,326	1,366	2,688	2,033	3,335	6,318	4,669	0,2904	0,3191	0,3190	50	jura, malm, wapienie trias, wapien muszl., wapienie
	3,495	6,554	5,154	1,336	2,499	1,969	2,994	5,860	4,502	0,2936	0,3191	0,3084	10	
St M 1	3,004	5,989	4,222	1,150	2,289	1,616	2,705	5,199	3,669	0,2904	0,3165	0,3075	13	jura, malm, wapienie
KG 1	6,452	9,229	8,092	2,606	3,576	3,150	4,185	7,584	6,278	0,2380	0,2998	0,2838	44	cechsztyń dolomity, anhydryty
	5,988	8,501	6,734	2,326	3,380	2,882	4,678	6,059	5,460	0,2527	0,2967	0,2761	12	

N – liczba obserwacji w danej klasie



Ryc. 1. Zależność  $v = f(v_p/v_s)$  dla skal o różnych litologiach (podobny rozkład prezentował Domenico - 7)

Fig. 1. Relation of  $v = f(v_p/v_s)$  for various lithologic types (similar distribution was stated by Domenico - 7)

wysoka i waha się od 0,2680 do 0,3027. Nasylenie gazem powoduje obniżenie wszystkich modułów sprężystości, łącznie ze współczynnikiem Poissona.

Przy małym nasyceniu moduły mają tylko nieznacznie mniejsze wartości, przy dużym nasyceniu gazem występuje ich wyraźne obniżenie (R 3).

Skaly o dużej zawartości materiału ilastego, a więc łupki ilaste, czy utwory mułowcowo-ilaste charakteryzują się również obniżeniem modułów sprężystości  $E$ ,  $\mu$ ,  $K$ , ale zdecydowanym wzrostem stałej Poissona, co odróżnia je od piaskowców nasyconych gazem.

W tab. III zestawiono analogiczne wartości modułów dla serii karbońskiej z otworów W IG 1 i CH IG 1. Potraktowano osobno typ litologiczny piaskowców, mułowców oraz warstw zailonnych (iłowce). Przedstawiono również wartości dla poziomów węglowych bądź węgla występujących wśród iłowców.

Piaskowce karbonu, podobnie jak kredowe, charakteryzują się wysokimi modułami sprężystości. W otworze W IG 1 moduł  $E$  przyjmuje wartości z przedziału  $4,044 \cdot 10^4$  MPa do  $6,079 \cdot 10^4$  MPa, jednak w drugim otworze CH IG 1 obserwujemy całkowite obniżenie modułów. W otworze tym pewna grupa piaskowców jest dość znacznie zailona, o czym świadczy podwyższona intensywność na krzywej gamma. Występują również poziomy niejednorodne (cienkie warstwy piaskowca, mu-

Tabela II

WARTOŚCI EKSTREMALNE I ŚREDNIE MODUŁÓW SPRĘŻYSTOŚCI  
OBLICZONYCH Z OBRAZÓW FAŁOWYCH DLA PIASKÓWCÓW

Nazwa otworu	$E \cdot 10^4$ (MPa)			$\mu \cdot 10^4$ (MPa)			$K \cdot 10^4$ (MPa)			$\nu$			N	Uwagi
	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.		
Ł 28	3,803	5,387	4,620	1,558	2,216	1,889	2,290	3,188	2,789	0,2152	0,2306	0,2230	6	kreda, cenoman, piask. zawodn.
	3,409	3,616	3,489	1,431	1,567	1,494	1,610	1,905	1,792	0,1355	0,1920	0,1677	5	kreda, cenoman, piask. nasyc. gazem
R 3	2,027	3,995	2,669	0,812	1,659	1,080	1,292	2,251	1,688	0,2041	0,2624	0,2370	16	kreda, cenoman, piask. zawodn.
	1,155	2,438	1,683	0,573	0,967	0,749	0,385	1,144	0,685	0,008	0,1587	0,094	21	j.w. piask. nasyc. gazem, b.d. nasyc.
St M 1	1,233	2,483	1,533	0,480	0,979	0,573	0,947	1,797	1,161	0,2680	0,3027	0,2879	19	kreda, cenoman, piask. zawod. o dużej porowatości
S 23	2,845	7,490	4,086	1,148	3,215	1,657	1,813	3,945	2,458	0,1659	0,2750	0,2273	32	kreda, piaskowce zawiadnione
	2,702	4,497	3,399	1,324	1,953	1,539	0,938	2,176	1,684	0,021	0,1920	0,1402	6	kreda, piask. nasyc. gazem
	1,541	2,187	1,730	0,588	0,844	0,660	1,295	1,805	1,529	0,2970	0,3264	0,3114	4	kreda, łupki il. istebniańskie
KG 1	5,634	6,953	6,304	2,416	2,722	2,554	2,796	5,603	4,076	0,1512	0,2936	0,2119	14	piaskowce, cz. spagowiec 7, wap. podst. 7

Tabela III

WARTOŚCI EKSTREMALNE I ŚREDNIE MODUŁÓW SPRĘŻYSTOŚCI  
OBLICZONYCH Z OBRAZÓW FAŁOWYCH DLA UTWORÓW KARBONU

Nazwa otworu	$E \cdot 10^4$ (MPa)			$\mu \cdot 10^4$ (MPa)			$K \cdot 10^4$ (MPa)			$\nu$			N	Uwagi
	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.		
W IG 1	4,044	6,079	5,108	1,657	2,550	2,158	2,385	3,404	2,890	0,1620	0,2447	0,2040	56	piaskowce
	3,345	5,662	4,267	1,281	2,313	1,694	2,202	3,445	2,989	0,2152	0,3056	0,2622	31	mułowce
	2,138	3,171	2,805	0,819	1,229	1,096	1,792	2,656	2,171	0,2401	0,3056	0,2809	8	iłowce
CH IG 1	2,553	5,689	3,997	1,045	2,341	1,633	1,518	3,346	2,450	0,1795	0,2694	0,2272	48	piaskowce
	2,560	4,698	3,864	1,022	1,881	1,554	1,651	3,274	2,528	0,1859	0,2694	0,2440	44	mułowce
	1,774	4,612	2,940	0,676	1,840	1,279	1,319	3,121	2,410	0,2694	0,3112	0,2864	10	iłowce
	1,653	2,528	2,174	0,642	0,985	0,844	1,294	1,962	1,715	0,2848	0,2936	0,2882	3	węgle z iłowcem

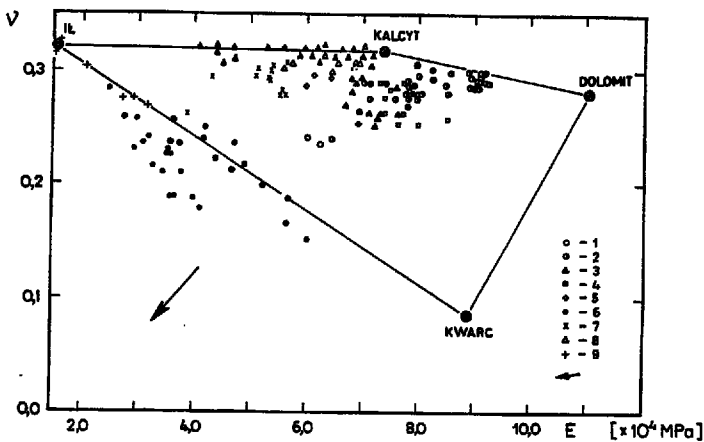
łowca i ilowca), a także warstwa nasycona lotnymi węglowodorami (na głębokości 1290–1294 m). Klasa mułowców ma nieco niższe moduły sprężystości  $E$ ,  $\mu$  i  $K$  i podwyższony współczynnik Poissona w stosunku do piaskowców. Najniższe moduły sprężystości i zarazem najwyższe wartości  $\nu$  obserwuje się w klasie ilowców, a także węgla występujących wśród ilowców.

Przy analizie omawianych tabel należy zwrócić uwagę na liczebność obserwacji w danej grupie. Przy dużej liczebności wnioski są bardziej prawdopodobne.

W celu lepszego przedstawienia zależności modułów sprężystości od litologii sporządzono wykres (ryc. 2) zmian współczynnika Poissona i modułu Younga  $E$  obliczonych z obrazów falowych. Na wykresie zaznaczono punkty odpowiadające „czystym” minerałom kwarcu, kalcytu i dolomitu, których moduły (tab. IV) określono na podstawie prędkości  $v_p$  i  $v_s$  cytowanych w pracy (8). Zaznaczono również punkt „czystego” ilu.

Ułożenie punktów jest uwarunkowane litologią, a więc składem mineralnym, porowatością skał, ich zaileniem, jak również wpływem nasycenia gazem.

Punkty odpowiadające wapieniom grupują się w pobliżu punktu kalcytu oraz na lewo od niego, na linii kalcyt–il. Spowodowane jest to wpływem obecności materiału ilastego, a także wzrostem współczynnika po-



Ryc. 2. Wykres zmian  $\nu = f(E)$  dla skał o zróżnicowanej litologii

1 – piaskowce o podwyższonej zawartości węgla wapnia, 2 – dolomity, 3 – dolomity z anhydrytem, 4 – anhydryty z dolomitem, 5 – anhydryty, 6 – piaskowce, 7 – margle, 8 – wapień, 9 – łupki ilaste. Strzałką zaznaczono kierunek wpływu nasycenia gazem

Fig. 2. Diagram of  $\nu = f(E)$  changes for various rocks

1 – sandstones with enhanced calcium carbonate content, 2 – dolomites, 3 – dolomites with anhydrite, 4 – anhydrites with dolomite, 5 – anhydrites, 6 – sandstones, 7 – marls, 8 – limestones, 9 – clay shales. Arrow points direction of gas saturation

Tabela IV

WARTOŚCI MODUŁÓW SPRĘŻYSTOŚCI YOUNGA I WSPÓLCZYNNIKA POISSONA DLA MINERAŁÓW (OBLICZONO NA PODSTAWIE 7)

Minerał	$E \cdot 10^4$ (MPa)	$\nu$	Gęstość, $10^3$ kg/m <sup>3</sup>
Kwarc	8,909	0,0870	2,65
Dolomit	11,094	0,2800	2,85
Kalcyt	7,380	0,3170	2,71
Il	1,579	0,3181	2,40

rowatości. Potwierdzają to warstwy margliste i margle grupujące się poniżej wspomnianej linii.

Warstwy odpowiadające dolomitom zajmują położenie między punktem kalcytu i dolomitu. Obniżenie ich modułów  $E$  i  $\nu$  jest spowodowane zarówno domieszkami anhydrytu, jak i wzrostem porowatości. Piaskowce, generalnie rzecz biorąc, grupują się wokół linii kwarc–il. Duży rozrzut punktów w tej klasie litologicznej jest wynikiem zmian porowatości oraz składu mineralnego spoiwa skalnego. Przewyższenie punktów nad linią kwarc–il wywołuje obecność węglanów.

Wzrost współczynnika Poissona przy jednoczesnym obniżeniu modułu Younga można wyjaśnić podwyższeniem materiału drobnodispersyjnego w tej grupie.

Strzałka zaznaczona w dolnym, lewym rogu wykresu ilustruje wpływ nasycenia gazem warstw piaskowcowych. Jak wspomniano wyżej, przy analizie tab. II obecność gazu w przestrzeni porowej obniża dość znacznie zarówno moduł  $E$  jak i stałą  $\nu$ .

## WNIOSKI

Przedstawione powyżej rozważania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wyznaczone moduły sprężystości na podstawie obrazów falowych rejestrowanych przy profilowaniu akustycznym, charakteryzują ośrodek w warunkach naturalnych, dostarczają więc unikatowej informacji o rzeczywistych jego parametrach.

2. Wszystkie moduły sprężystości ( $E$ ,  $\mu$ ,  $K$  oraz  $\nu$ ) są bardzo uzależnione od litologii skał osadowych, a więc ich składu mineralnego, a także od parametrów zbiornikowych – porowatości i nasycenia wodą lub węglowodorami.

3. Najwyższymi wartościami modułu  $E$ ,  $\mu$  i  $K$  charakteryzują się dolomity o niskiej porowatości, nieco niższymi zbite wapień oraz piaskowce.

4. Wzrost współczynnika porowatości powoduje obniżenie wymienionych modułów we wszystkich typach litologicznych, podobnie obniżenie modułów wywołuje wzrost materiału ilastego w skałach.

5. Obecność gazu w przestrzeni porowej obniża nawet dość znacznie zarówno moduły  $E$  i  $\mu$ , jak i  $K$ , natomiast obecność ropy wywołuje tylko nieznaczny spadek.

6. Współczynnik Poissona bardzo silnie zależy od stosunku prędkości fali podłużnej do poprzecznej ( $v_p/v_s$ ).

7. Przedziały zmian stałej Poissona, w zależności od litologii są następujące: dla klasy piaskowców – 0,15–0,27, dolomitów – 0,27–0,29, wapieni – 0,29–0,33.

Dla skał ilastych wartość  $\nu$  jest również wysoka, osiąga nawet 0,32. Obecność minerałów ilastych w poszczególnych typach litologicznych skał powoduje podwyższenie współczynnika Poissona.

8. Obecność gazu zdecydowanie obniża wartość  $\nu$ . Dla skał piaskowcowych nasyconych gazem współczynnik Poissona może przyjmować wartości nawet poniżej 0,09. Dzieje się tak dlatego, że obecność gazu bardzo silnie obniża prędkość fali P, a stosunkowo mało wpływa na falę S.

## LITERATURA

- B a ł a M., – Nafta, 1986 nr 10 s. 257–263.
- B a ł a M., J a r z y n a J. – Probl. CPBP 03. 01, temat 21, etap I, Bibl. MIG AGH, 1986.
- B a ł a M., J a r z y n a J. – Probl. Res. IG. 5.1.2. zad. 3, Bibl. MIG AGH, 1987.

4. Bała M. — Probl. CPBR 1.5, cel. realizacyjny 1.37, temat — Model interpretacji zdjęć obrazu falowego dla określenia parametrów sprężystych, litologii i własności zbiornikowych skał piaskowcowych. Cz. II, Bibl. IGNiG, Kraków, 1988.
5. Bała M. — Z. Nauk. AGH, Geof. Stosowana, 1989 nr 3.
6. Ciechanowska M., Zalewska J., Szafer T. — Określenie parametru nasycenia i innych własności skał zbiornikowych jednostki śląskiej. Zlec. V-36/78, Kom. Rzeczozn. SITP Naft. Kraków, 1978.
7. Domenico S.N. — Geoph., 1984 vol. 49 nr 8.
8. Eastwood R.L., Castagna J.P. — 24 Ann. Log. Symp. June 27—30 SPWLA Calgary, 1983.
9. Jasnowski M., Rożkowski J. — Probl. Res. IG 5.1.2. zad. 3. Arch. Budokop, Mysłowice, 1986.
10. Nowak J., Marek S., Kossowicz R. — Probl. CPBP 03.01, temat 21, etap II, Bibl. MIG AGH, 1987.

#### S U M M A R Y

Here are presented some attempts in sedimentary rock classification on grounds of their Young modulus of elasticity, volume and shape distortion and Poisson coefficients.

These modulus were estimated on base of quantitative interpretation of wave images, registered during acoustic sensing in bore holes. They inform about rock elasticity parameters in natural conditions, which could be used in studies of orogen mechanics and deposits exploitation. There were discussed variability intervals of modulus of elasticity for various lithologic types and of such reservoir parameters as porosity and water hydrogen saturation coefficients.

#### Р Е З Ю М Е

В статье представлены попытки классификации осадочных пород на основании их модулей упругости — Юнга, объемной деформации, деформации внешнего вида и коэффициента Пуассона. Эти модули были рассчитаны на основании количественной интерпретации волновых изображений, зарегистрированных при акустическом каротаже в буровых скважинах. Они подставляют информацию о упругих параметрах пород в условиях их природного залегания, используемых при решении вопросов механики горных пород и эксплуатации месторождений.

Приведены интервалы изменчивости модулей упругости для пород различной литологии, а также коллекторных параметров — коэффициента пористости и насыщения водой, или углеводородами.